

Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang dan Kangkung Air untuk Biogas Menggunakan Bioreaktor Anaerobik

Reynafa Agustin, Nabila Wahyu Azizah dan Soeprijanto^{*)}

Teknik Kimia Industri / Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

^{*)} Corresponding author: soeprijanto@chem-eng.its.ac.id

Abstract

Biogas is a combustible gas that is a mixture of methane (CH₄), hydrogen (H₂), carbon dioxide (CO₂) and other gases obtained from the decomposition of organic materials such as animal manure, human waste, organic waste, fruit waste and others. The content of biogas includes methane (50-70%), carbon dioxide (20-40%), and other gases such as ammonia and hydrogen sulfide. One of the organic wastes that has the potential to be used as biogas is banana peel waste. The experimental phase was carried out by mixing cow dung, banana peel waste, and water spinach according to the HRT variable for 15 days. The biogas produced will be collected in the digester. Then, test the flame on the biogas gas formed. This study aims to determine the effect of the substrate ratio between banana peel waste and water spinach vegetable waste using cow dung starter on the quality of biogas and methane gas formed. The research results found that the effect of the variable ratio of 2:1 with banana peel waste substrate contained more gas with a total of 119.554 liters and an increasingly homogeneous flame test.

Abstrak

Biogas adalah gas mudah terbakar yang merupakan gas campuran metana (CH₄), hidrogen (H₂), karbondioksida (CO₂) dan gas lainnya yang didapat dari hasil penguraian material organik seperti kotoran hewan, kotoran manusia, sampah organik, limbah buah dan lain-lain. Kandungan biogas meliputi kadar metana (50-70%), karbon dioksida (20-40%), dan gas lainnya seperti amonia dan hidrogen sulfida. Salah satu limbah organik yang berpotensi dijadikan biogas yaitu limbah kulit pisang. Tahap percobaan dilakukan dengan mencampurkan kotoran sapi, limbah kulit pisang, dan kangkung air sesuai variabel HRT selama 15 hari. Biogas yang dihasilkan akan ditampung pada digester. Lalu, uji nyala api pada gas biogas yang terbentuk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio substrat antara limbah kulit pisang serta limbah sayuran kangkung air dengan menggunakan starter kotoran sapi terhadap kualitas biogas dan gas metana yang terbentuk. Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa pengaruh rasio variabel 2:1 dengan substrat limbah kulit pisang lebih banyak mengandung gas dengan total 119,554 liter dan uji nyala api yang semakin homogen.

Kata kunci: *Biogas, Kotoran sapi, Kangkung air, Limbah kulit pisang*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah populasi manusia. Berbagai jenis bentuk energi telah digunakan oleh manusia seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam [1]. Diketahui bahwa jenis energi tersebut merupakan sumber daya alam tak terbarukan yang habis karena terus menerus dikonsumsi. Fenomena krisis energi telah terjadi di seluruh dunia, termasuk krisis energi minyak dan gas alam, listrik, dan bahan bakar fosil. Indonesia menghadapi krisis energi jika tidak segera mengadopsi energi baru terbarukan. Sumber energi alternatif harus memenuhi tiga aspek, antara lain energi, ekonomi dan ekologi. Sebagai sumber energi yang dapat diproduksi dalam jumlah besar, dengan biaya rendah, dan tidak berdampak pada lingkungan sekitar, biogas merupakan sumber energi yang ideal [2]. Biogas merupakan gas didapatkan dari proses anaerobik yang bersumber dari kotoran binatang, tanaman, limbah aktivitas insan yang mengandung kadar metana (50 –70%), karbon dioksida (20-40%), dan gas lainnya seperti amonia, hidrogen sulfida, dan sebagainya [3].

Biogas merupakan energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil seperti minyak tanah dan gas alam. Penggunaan teknologi biogas dapat berkelanjutan dan ramah lingkungan [4]. Menggunakan teknologi biogas salah satu hal yang efektif karena dapat menghasilkan gas dari limbah organik yang diolah dan tersedia secara melimpah. Gas yang dihasilkan oleh biogas terdiri dari metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), serta gas lainnya dari hasil penguraian material organik [5]. Variasi sifat biokimia juga menyebabkan variasi dalam produksi biogas. Beberapa bahan organik dapat digunakan dengan produksi gas yang tepat atau pertumbuhan normal bakteri metana. Bahan organik yang dapat digunakan sebagai substrat untuk produksi biogas antara lain limbah kulit pisang dan kangkung air.

Penguraian pembentukan biogas dari limbah sampah organik sayur-sayuran dan berbagai buah akan menjadi substrat terbaik sesuai dengan sama kandungan substrat kotoran sapi untuk menghasilkan biogas [6]. Tanaman pisang merupakan tanaman budidaya masyarakat yang tumbuh subur di Indonesia. Dengan banyaknya minat para konsumsi olahan buah pisang di Indonesia, maka memberikan peluang usaha tersendiri bagi masyarakat. Sehingga menghasilkan limbah kulit pisang yang melimpah tetapi belum diolah atau dimanfaatkan. Sampai saat ini pemanfaatan limbah kulit pisang untuk biogas masih belum banyak dilakukan. Kulit pisang mengandung karbohidrat sekitar 18,5%, lemak sekitar 2,11%, protein 0,32% [7]. Untuk jenis limbah lain seperti ampas kelapa memiliki lemak 12,2%-15,9%, limbah sayuran memiliki protein kasar 1-15% dan serat kasar 5-38%, limbah tahu memiliki air 90,72%, protein 1,8%, lemak 1,2% serat kasar 7,36%, serta limbah nasi yang memiliki 2% lemak, 89% karbohidrat dan protein 9%. Pada dasarnya kulit pisang memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi yang dapat didegradasi menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu glukosa. Kulit pisang digunakan karena mengandung karbohidrat sebanyak 18,5%, lemak sekitar 2,11%, protein 0,32% [7].

Umur simpan kangkung air yang relatif cepat membuat pembusukan kangkung air lebih mudah membusuk. Kangkung air yang membusuk dapat membentuk metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Metana dapat digunakan sebagai bahan bakar. Ditambah lagi, kangkung air bisa tumbuh di mana saja, sehingga dapat menjadi salah satu limbah yang harus ditangani ketika berada di tempat yang tidak sesuai. Kangkung air jika dicampur dengan kulit pisang diharapkan dapat meningkatkan produksi gas metan karena kulit pisang mengandung protein, lemak, vitamin, dan mineral yang cukup tinggi [8].

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang mendukung bahwa beberapa limbah, seperti limbah kulit pisang dan kangkung air, dapat digunakan sebagai substrat untuk menghasilkan biogas.

Tabel 1. Hasil Penelitian Terdahulu

Penulis	Substrat	Volume Biogas	Kondisi Operasi	Referensi
Spyridon Achinas, Janneke Krooneman, dan Gerrit Jan Willem Euverink (2019)	Limbah kulit pisang	Organic loading (OL) 10 g.VS/L dengan persentase kotoran sapi 10%, 20%, dan 30% secara berturut-turut sebesar 112,18; 89,56; dan 94,01 ml.g.VS/hari	Konstan mesofilik (36 ± 1) °C, diaduk manual dua kali sehari	[9]
Soeprijanto, Alif Adi Kaisar, dan Dyah Firdha Amalia (2021)	Limbah kulit pisang dan kangkung	17,898 L/kg substrat	Suhu ruang (± 25 °C)	[10]
Muhammad Romli, dkk (2014)	Jerami padi dan limbah pasar	8 L/Vs dari jerami padi dan 32 L/Vs	Suhu 32 °C	[11]
Odunayo T.Ore, dkk (2023)	Limbah pisang dan singkong	Limbah singkong menghasilkan 18,8 L/g.VS dan limbah pisang memproduksi 14,24 L/g.VS	Suhu 33 °C	[12]
Soeprijanto, dkk (2021)	Kangkung air	12,05 L/hari	Temperatur ruang	[13]

Maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kombinasi substrat dari limbah kulit pisang dan kangkung air dengan starter kotoran sapi dengan rasio variabel bahan menggunakan *Hydraulic Retention Time* (HRT) 15 hari terhadap gas metana dan kualitas biogas yang terbentuk.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan terdiri dari kotoran sapi, air PDAM, aquades, kangkung air, dan kulit pisang. Kangkung air yang dipilih diambil dari Danau Graha ITS yang jumlahnya cukup banyak. Limbah kulit pisang berasal dari penjual makanan olahan pisang. Air PDAM dipilih karena memiliki kualitas yang lebih unggul dibandingkan air sumur, salah satunya pada parameter klorida. Menurut hasil analisis, kandungan klorida pada air sumur sebesar 89-491 mg/L dan air PDAM sebanyak 57-230 mg/L [14].

Kemudian, alat yang digunakan yaitu *beaker glass*, corong, gelas ukur, plastik silinder dengan ukuran diameter 11 cm, skup, timbangan, oven, kertas saring, dan reaktor vertikal. Reaktor yang digunakan berjenis kontinyu dan mempunyai diameter 30 cm dan tinggi 54 cm. Berdasarkan hasil pengukuran, volume reaktor tersebut sebesar 48 liter.



Gambar 1. Reaktor Kontinyu untuk Proses Pembentukan Biogas

Variabel yang Dipilih

Variabel yang digunakan terdiri dari variabel bebas dan variabel tetap. Variabel bebas berupa perbandingan bahan substrat antara kulit pisang dan kangkung air yaitu 1:1 dan 2:1. Berikutnya, variabel bebas yang diaplikasikan yaitu durasi HRT selama 15 hari dan perbandingan kotoran sapi dan air PDAM sebesar 1:1.

Tahap Persiapan Bahan Baku (*Pre-Treatment*)

Hal yang dipersiapkan pertama kali yaitu campuran antara kotoran sapi dan air. Kotoran sapi yang masih segar diambil menggunakan skrup dan ditimbang menggunakan timbangan. Berikutnya, mencampurkan kotoran sapi dan air dengan rasio 1:1. Setelah dicampurkan, kotoran sapi dimasukkan ke dalam reaktor vertikal dan diinkubasi selama 7 hari.

Kedua, mempersiapkan substrat limbah kulit pisang dan kangkung air. Limbah tersebut dihaluskan sesuai dengan perbandingan pada variabel, yakni 1:1 dan 2:1. Lalu, menambahkan air pada campuran substrat hingga mencapai 3,4 liter.

Tahap Pembentukan Biogas

Proses input substrat dilakukan setiap hari sesuai HRT selama 15 hari. Hal ini dilakukan karena jenis reaktor yang digunakan kontinyu. Volume campuran substrat dan air yang diumpahkan sebanyak 3,4 liter/hari selama 15 hari. Lalu, memasang plastik dengan ukuran diameter 11 cm pada pipa *output* untuk menampung hasil biogas. Kemudian, menghitung volume gas yang dihasilkan setiap variabel selama 15 hari.

Perhitungan volume biogas dilakukan dengan cara memasukkan plastik yang berisi biogas ke dalam gelas ukur 500 ml. Berikutnya, menyiapkan air secukupnya dalam ember dan mencelupkan gelas ukur 500 ml ke dalam air pada ember. Tinggi air dalam gelas ukur 500 ml diamati setiap hari untuk mengetahui volume biogas yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari hasil penguraian substansi kotoran ternak, limbah pertanian, limbah industri melalui beberapa tahapan proses. Biogas terdiri dari beberapa unsur gas seperti gas metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S)

dan amonia (NH_3) [15]. Sesuai dengan tujuan penelitian diatas yaitu untuk mengetahui pengaruh kombinasi substrat dari limbah kulit pisang dan kangkung air dengan starter kotoran sapi dengan rasio variabel bahan menggunakan *Hydraulic Retention Time* (HRT) 15 hari terhadap gas metana dan kualitas biogas yang terbentuk.

Limbah kulit pisang mempunyai kandungan hemiselulosa 37,19%, selulosa 52,43%, dan lignin 7,74% [9]. Kangkung air memiliki kandungan hemiselulosa sebesar 20%-35%, selulosa 35%-50%, dan lignin 5%-30%. Selain itu, kangkung air juga mengandung nitrogen yang cukup sehingga dapat digunakan sebagai substrat biogas. Nitrogen berfungsi sebagai sumber makanan untuk bakteri anaerob. Nitrogen amonia yang baik berada pada rentang konsentrasi 200-1500 mg/liter. Apabila kadarnya melebihi 3000 mg/liter, nitrogen amonia akan bersifat toksik [8].

Pembusukan secara anaerobik merupakan proses biologis di mana materi organik yang dapat terurai diuraikan dalam keadaan tanpa oksigen untuk menghasilkan biogas yang terdiri dari campuran gas CH_4 (55-75%), CO_2 (25-45%), H_2 (0-3%), N_2 (1-5%), CO (0-0,3%), H_2S (0,1-0,5%), dan sedikit uap air. Tahapan penguraian organik dalam biogas melalui serangkaian tahapan proses hidrolitik, asidogenik, asetogenik, dan metanogenik [16]. Data volume biogas yang dihasilkan dari substrat kotoran sapi dengan penambahan campuran limbah kulit pisang dan kangkung air selama 15 hari HRT dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Volume Biogas Variabel Perbandingan Substrat 1:1

Waktu Proses (hari)	Tinggi (cm)	Volume Biogas (liter/hari)	Akumulasi Volume Biogas (liter)
1	57	5,414	5,414
2	27	2,565	7,979
3	40	3,799	11,778
4	38	3,609	15,388
5	41	3,894	19,282
6	61	5,794	25,076
7	37	3,514	28,590
8	41	3,894	32,485
9	37	3,514	35,999
10	35	3,324	39,324
11	26	2,470	41,793
12	32	3,040	44,833
13	34	3,229	48,062
14	29	2,755	50,817
15	30	2,850	53,667

Berdasarkan Tabel 2, diperoleh akumulasi volume biogas sebesar 53,667 liter, volume biogas rata-rata sebesar 3,578 liter/hari, volume tertinggi sebesar 5,794 liter pada HRT ke-6, dan volume terendah sebesar 2,47 liter pada HRT ke-11. Hal ini menunjukkan bahwa nilai volume gas semakin besar atau naik seiring dengan lamanya waktu fermentasi berbanding lurus. Hasil ini dikuatkan oleh penelitian yang dilakukan Sutanto 2018 bahwa sampah kulit pisang adalah sampah organik yang paling baik sebagai penghasil biogas diikuti dengan pernyataan pembentukan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi sampah organik sangat ditentukan oleh banyaknya kandungan protein, karbohidrat dan lemak dalam sampah organik tersebut. Semakin tinggi kandungan protein, karbohidrat dan lemak, maka biogas yang dihasilkan juga semakin banyak [17]. Namun, pada Tabel 2 hari ke-2 terjadi penurunan volume biogas yang awalnya 5,414 liter/hari menjadi 2,565 liter/hari. Penurunan volume gas pada biogas dapat

disebabkan oleh proses pencemaran anaerobik di dalam digester biogas. Pencemaran tersebut dapat disebabkan oleh ketidakseimbangan populasi bakteri metanogenik dan bakteri asam. Hal ini dapat menyebabkan lingkungan menjadi sangat asam dengan pH kurang dari 7, yang akhirnya menghambat kelangsungan hidup bakteri metanogenik. Untuk mencapai kondisi keasaman yang optimal pada proses pencernaan anaerobik, pH harus berada pada kisaran 6,8 hingga 8. Laju pencernaan akan menurun pada kondisi pH yang lebih tinggi atau lebih rendah dari itu [18]

Tabel 3. Volume Biogas Variabel Perbandingan Substrat 2:1

Waktu Proses (hari)	Tinggi (cm)	Volume Biogas (liter/hari)	Akumulasi Volume Biogas (liter)
1	41	3,894	61,139
2	39	3,704	64,843
3	39	3,704	68,548
4	39	3,704	72,252
5	45	4,274	76,526
6	42	3,989	80,516
7	44	4,179	84,695
8	40	3,799	88,494
9	43	4,084	92,579
10	35	3,324	95,903
11	56	5,319	101,222
12	57	5,414	106,636
13	42	3,989	110,626
14	48	4,559	115,185
15	46	4,369	119,545

Berdasarkan Tabel 3, didapatkan jumlah volume total biogas sebesar 119,545 liter, volume biogas rata-rata sebesar 4,1544 liter/hari, volume tertinggi sebesar 5,414 liter pada HRT ke-12, dan volume terendah sebesar 3,324 liter pada HRT ke-10. Jumlah volume biogas yang dihasilkan bergantung pada jumlah substrat yang diumpangkan. Maka dari itu, volume biogas dengan variabel perbandingan substrat 2:1 akan meningkat apabila dibandingkan dengan perbandingan substrat 1:1. Produksi biogas pada pH netral akan mendukung perkembangan bakteri metanogen sehingga bakteri perombak asam asetat dapat tumbuh dan berkembang secara maksimal. Dengan demikian, volume biogas akan semakin banyak [19].

Selain itu, dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil uji nyala gas metana yang dilakukan setiap lima hari sekali sebagai berikut.

Berdasarkan **Error! Not a valid bookmark self-reference.** dan Tabel 5, didapatkan hasil uji nyala api pada hari ke-5 dengan warna merah kegelapan. Pada HRT ke-10 dan ke-15, uji nyala menunjukkan hasil pembakaran gas metana berwarna oranye. Uji nyala api gas metana dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kandungan metana yang ada pada produksi biogas, kandungan gas lainnya seperti CO₂ yang tinggi dapat mengurangi ukuran nyala api, tekanan gas, suhu, dan kualitas biogas. Warna uji nyala api untuk kuning dan hijau menunjukkan bahwa pada proses pembakaran masih terdapat gas selain gas metana. Dan untuk warna biru menunjukkan bahwa gas metana (CH₄) sudah homogen [20].

Tabel 4. Uji Nyala Gas Metana dengan Variabel Perbandingan Substrat 1:1

Hari ke-	Uji Nyala Gas Metana
5	
10	
15	

Tabel 5. Uji Nyala Gas Metana dengan Variabel Perbandingan Substrat 2:1

Hari ke-	Uji Nyala Gas Metana
5	
10	
15	

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengaruh rasio variabel pada kualitas biogas semakin banyak substrat yang masuk di dalam reaktor, berbanding lurus dengan volume gas yang dihasilkan ikut meningkat. Tetapi hal ini terjadi pada rasio 2:1 substrat limbah kulit pisang lebih banyak daripada kangkung air dikarenakan kandungan lignin yang ada di kangkung air lebih tinggi daripada limbah kulit pisang.
2. Pengaruh rasio variabel pada uji nyala api bahwa kandungan gas metana pada rasio 2:1 dengan substrat limbah kulit pisang dan kangkung air semakin homogen serta gas lain yang ikut tercampur semakin berkurang daripada rasio 1:1.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua kontributor yang telah memberikan bantuan berharga dalam proses penelitian dan penyusunan makalah ini. Tanpa kerjasama dan kontribusi mereka, penelitian ini tidak akan menjadi mungkin terwujud. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah memberikan masukan, saran, dan bimbingan selama proses penelitian ini berlangsung. Setiap saran yang diberikan sangat berarti bagi perkembangan dan kesempurnaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fairuz, A. Haryanto, dan A. Tusi, “Pengaruh Penambahan Ampas Kelapa Dan Kulit Pisang Terhadap Produksi Biogas Dari Kotoran Sapi | Effect of Addition Coconut Pulp and Banana Peel on Production Biogas From Cow Manure,” *J. Tek. Pertan. Lampung*, vol. 4, no. 2, hal. 91–98, 2015.
- [2] Sriharti; Ari Rahayuningtyas, “PEMANFAATAN BIOGAS SEBAGAI BAHAN BAKAR PENERANG SKALA RUMAH TANGGA,” *Pros. SNaPP2016 Sains dan Teknol.*, vol. 6, hal. 88–95, 2016.
- [3] N. Wahab dan I. Ramli, “Analisis Pengolahan Biogas Dari Campuran Limbah Sayur Kangkung Dan Eceng Gondok Dengan Starter Kotoran Sapi,” *J. Tecnoscienza*, vol. 6, no. 2, hal. 234–245, 2022, doi: 10.51158/tecnoscienza.v6i2.625.
- [4] I. G. Artha Negara, “Analisis Laju Konsumsi Bahan Bakar Pada Mini Pembangkit Listrik 6000 Watt Bertenaga Biogas,” *J. Ilm. Vastuwidya*, vol. 4, no. 2, hal. 39–42, 2021, doi: 10.47532/jiv.v4i2.319.
- [5] S. Prihatiningtyas, *Biodigester untuk Biogas*. 2019.
- [6] J. Sutrisno, “PEMBUATAN BIOGAS DARI BAHAN SAMPAH SAYURAN (KUBIS, KANGKUNG dan BAYAM),” *WAKTU J. Tek. UNIPA*, vol. 8, no. 1, hal. 100–112, 2010, doi: 10.36456/waktu.v8i1.885.
- [7] M. K. Ilham, M. K. Ramdhan, dan A. Suhendi, “Pengaruh Ph Terhadap Produksi Biogas Dengan Campuran Substrat Kotoran Hewan Dan Limbah Kulit Pisang Pada Reaktor Anaerob,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 4, no. 3, hal. 3977–3984, 2017.
- [8] Y. B. Nitbani, B. V Tarigan, dan J. U. Jarson, “Pengaruh Perbandingan Komposisi

- Campuran Perut Ikan, Kangkung, dan Feses Babi terhadap pH, Kuantitas dan Kualitas Biogas,” *LONTAR J. Tek. Mesin Univ. Nusa Cendana*, vol. 03, no. 02, hal. 57–68, 2016.
- [9] S. Achinas, J. Krooneman, dan G. J. W. Euverink, “Enhanced Biogas Production from the Anaerobic Batch Treatment of Banana Peels,” *Engineering*, vol. 5, no. 5, hal. 970–978, 2019, doi: 10.1016/j.eng.2018.11.036.
- [10] S. Soeprijanto, A. A. Kaisar, dan D. F. Amalia, “Biogas Production from Water Spinach and Banana Peel Waste Using Plug Flow Reactor,” *IPTEK J. Eng.*, vol. 7, no. 2, hal. 46, 2021, doi: 10.12962/j23378557.v7i2.a9928.
- [11] M. Romli, Suprihatin, N. S. Indrasti, dan A. Y. Aryanto, “BIOGAS FORMATION FROM RICE STRAW AND MARKET WASTE IN SEMI-DRY FERMENTATION SYSTEM,” *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 24, no. 2, hal. 97–104, 2014.
- [12] O. T. Ore, O. K. Akeremale, A. O. Adeola, E. Ichipi, dan K. O. Olubodun, “Production and Kinetic Studies of Biogas from Anaerobic Digestion of Banana and Cassava Wastes,” *Chem. Africa*, vol. 6, no. 1, hal. 477–484, 2023, doi: 10.1007/s42250-022-00502-5.
- [13] S. Soeprijanto, I. D. A. A. Warmadewanthi, M. S. Muntini, dan A. Anzip, “The utilization of water hyacinth for biogas production in a plug flow anaerobic digester,” *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 10, no. 1, hal. 27–35, 2021, doi: 10.14710/ijred.2021.21843.
- [14] K. Ngibad dan D. Herawati, “Analysis of Chloride Levels in Well and PDAM Water in Ngelom Village, Sidoarjo,” *JKPK (Jurnal Kim. dan Pendidik. Kim.)*, vol. 4, no. 1, hal. 1, 2019, doi: 10.20961/jkpk.v4i1.24526.
- [15] S. S. Sunyoto Sunyoto, Danang Dwi Saputro, “Pengolahan Sampah Organik Menggunakan Reaktor Biogas Di Kabupaten Kendal,” *Rekayasa*, vol. 14, no. 1, hal. 29–36, 2016.
- [16] M. Gunamantha, “Studi Potensi Biogas Dari Sampah Daun Pisang Melalui Penguraian Secara Anaerobik,” *JST (Jurnal Sains dan Teknol.)*, vol. 3, no. 1, hal. 311–323, 2014, doi: 10.23887/jst-undiksha.v3i1.2909.
- [17] T. S. Sutanto, “Proses Produksi Biogas Dari Sampah Organik,” *Semin. Nas. Tek. Mesin*, hal. 355–363, 2018.
- [18] T. Haryati, “Biogas: Limbah Peternakan yang menjadi Sumber Energi Alternatif,” *Wartazoa*, vol. 16, hal. 3, 2016.
- [19] A. Yonathan, A. R. Prasetya, B. Pramudono, dan Dkk, “Produksi Biogas Dari Eceng Gondok (*Eicchornia Crassipes*): Kajian Konsistensi Dan Ph Terhadap Biogas Dhasilkan,” *J. Teknol. Kim. dan Ind.*, vol. 2, no. 2, hal. 211–215, 2013.
- [20] G. Mahardikan, “RANCANG BANGUN REAKTOR BIOGAS TIPE PORTABLE DARI LIMBAH KOTORAN TERNAK SAPI,” *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 5, no. 1, hal. 369–374, 2017.